

Modélisation Transactionnelle des Systèmes sur Puces en SystemC Ensimag 3A — filière SLE Grenoble-INP Modélisation TLM en SystemC

Matthieu Moy
(transparents originaux de Jérôme Cornet)

Matthieu.Moy@imag.fr

2015-2016



Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

Modélisation TLM

2015-2016

< 1 / 59 >

Planning approximatif des séances

- 1 Introduction : les systèmes sur puce
- 2 Introduction : modélisation au niveau transactionnel (TLM)
- 3 Introduction au C++
- 4 Présentation de SystemC, éléments de base
- 5 Communications haut-niveau en SystemC
- 6 **Modélisation TLM en SystemC**
- 7 TP1 : Première plateforme SystemC/TLM
- 8 Utilisations des plateformes TLM
- 9 TP2 (1/2) : Utilisation de modules existants (affichage)
- 10 TP2 (2/2) : Utilisation de modules existants (affichage)
- 11 Notions Avancées en SystemC/TLM
- 12 TP3 (1/3) : Intégration du logiciel embarqué
- 13 TP3 (2/3) : Intégration du logiciel embarqué
- 14 TP3 (3/3) : Intégration du logiciel embarqué
- 15 05/01 : Intervenant extérieur : Jérôme Cornet
- 16 Perspectives et conclusion

Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

Modélisation TLM

2015-2016

< 2 / 59 >

Sommaire

- 1 Le but ...
- 2 Dernières notions de SystemC
- 3 Bibliothèque TLM 2.0

Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

Modélisation TLM

2015-2016

< 3 / 59 >

Ce qu'on veut pouvoir écrire

Côté initiateur

```
ensitlm::data_t val = 1;
ensitlm::addr_t addr = 2;
while (true) {
    cout << "Entrer x : " << endl;
    cin >> val;
    socket.write(addr, val);
}
```

Côté cible

```
tlm_response_status
write(const ensitlm::addr_t &a,
      const ensitlm::data_t &d) {
    cout << "j'ai reçu : "
          << d << endl;
    return TLM_OK_RESPONSE;
}
```

Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

Modélisation TLM

2015-2016

< 5 / 59 >

Rappel

- **Port** : expose une **interface** à un point de connexion
- **Canal** : **implémente** les différentes interfaces requises pour réaliser la communication
- Utilisation dans les modules : appels de méthodes sur les ports à travers l'opérateur « -> » redéfini
- Appel de méthode par le port dans un module ⇒ appel de la même méthode dans le canal auquel est relié le port

Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

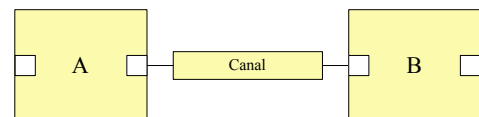
Modélisation TLM

2015-2016

< 7 / 59 >

Problème : exposé

- Assemblage d'origine



Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

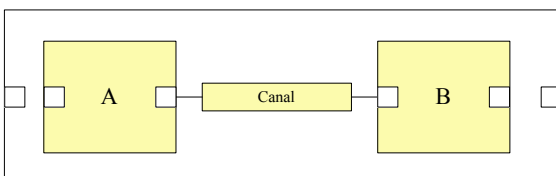
Modélisation TLM

2015-2016

< 8 / 59 >

Problème : exposé

- Intégration en un seul composant ?



Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

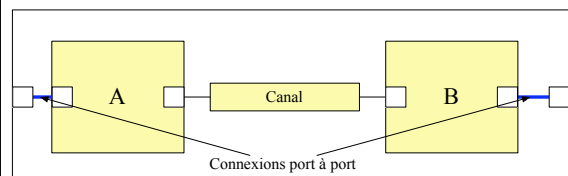
Modélisation TLM

2015-2016

< 9 / 59 >

Problème : exposé

- Connexions port à port



Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

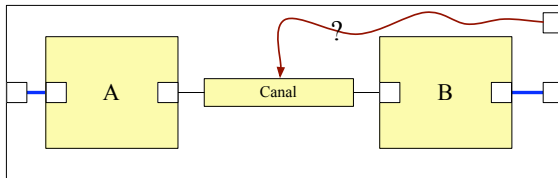
Modélisation TLM

2015-2016

< 10 / 59 >

Problème : exposé

- Cas problématique :

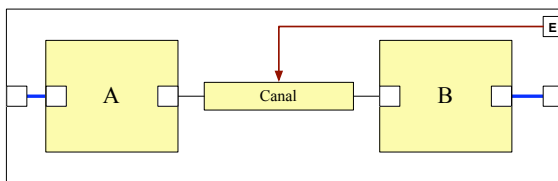


Export : la classe `sc_export`

- Élément (similaire à un port) :
 - ▶ exposant une interface à un point de connexion
 - ▶ connecté à un objet, auquel il transmet les appels de méthodes
- En pratique :
 - ▶ Objet de la classe `sc_export`
 - ▶ Généricité sur l'interface (comme `sc_port`)
 - ▶ Nécessité de connexion explicite dans le code à l'objet récepteur des appels de méthodes

Export : exemple (1/2)

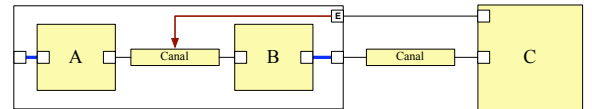
- Sur l'exemple précédent :



- `E->methode()` \Leftrightarrow `canal->methode()`

Export : exemple (2/2)

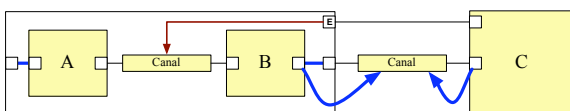
- Intégration du composant créé :



- C peut appeler directement les méthodes du canal.

Retour sur les appels effectués (1/2)

- Appels sur ports (\rightarrow) :



Retour sur les appels effectués (2/2)

- Appels sur ports et exports (\rightarrow) :

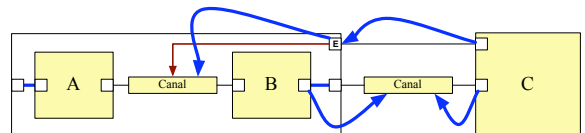
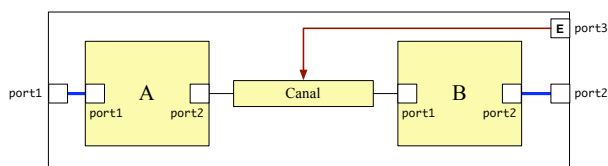


Schéma du module à créer



Exemple (déclaration)

```
SC_MODULE (AetB)
{
    // ports et exports
    sc_port<my_interface> port1, port2;
    sc_export<my_interface> port3;

    // Constructeur
    SC_CTOR (AetB);

    // Objets internes
    A a;
    B b;
    Canal canal;
}
```

Exemple (constructeur)

```
AetB::AetB(sc_module_name name)
: sc_module(name),
  a(sc_gen_unique_name("A")),
  b(sc_gen_unique_name("B")),
  canal(sc_gen_unique_name("canal"))
{
    // connexions internes
    a.port2(canal);
    b.port1(canal);

    // connexions port a port vers l'exterieur
    a.port1(port1);
    b.port2(port2);

    // connexion de l'export
    port3.bind(canal);
}
```

Exemple (sc_main)

```
int sc_main(int, char**)
{
    AetB          aetb("AetB");
    C             c("C");
    QuickChannel  q1("q1"), q2("q2"), q3("q3");

    aetb.port1.bind(q1);
    c.port1.bind(q1);

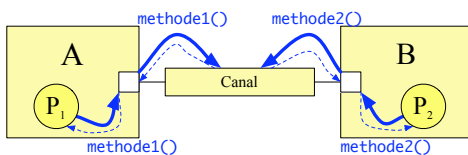
    aetb.port2.bind(q2);
    c.port2.bind(q2);

    c.port3.bind(aetb.port3);

    sc_start(); return 0;
}
```

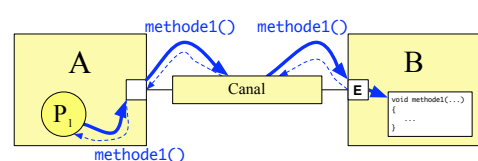
Communications vues jusqu'ici

- Chaque module est « actif »



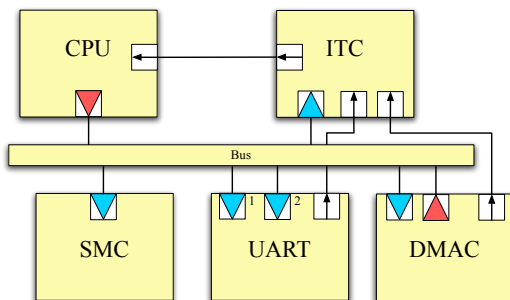
Communications TLM

- Modules actifs, passifs, actifs/passifs



- A peut appeler directement des méthodes de B

Ce que l'on souhaite modéliser



Pourquoi standardiser TLM 2

- Historique :
 - SystemC 2.0 : notion de `sc_interface`. Chaque entreprise peut coder ses canaux de communications.
 - Problème : Un composant écrit avec le protocole de l'entreprise X ne peut pas se connecter sur le canal de l'entreprise Y !
 - Difficulté à intégrer des composants venant d'entreprise extérieures,
 - Contournements avec des adaptateurs (lents, pas toujours possibles)
 - TLM-1.0 : un pas vers l'interopérabilité
 - Définition d'une interface (template)
 - Mais rien sur le contenu des transactions
 - ⇒ seulement une petite partie d'un vrai protocole standardisé !
 - TLM-2.0 : l'interopérabilité se rapproche ...
 - Contenu des transactions défini

Architecture de la bibliothèque

- Généricité
- Couche Transport
 - Mécanismes génériques de transmission des transactions
 - Permet de modéliser n'importe quel protocole de bus
 - Standardisée
- Couche Protocole
 - Contenu des transaction standardisé (`tlm::tlm_generic_payload`)
 - Comportement
 - "Interfaces de convenances" pour rendre le code plus concis.
 - Étude d'un exemple : protocole `Ensitlm`
- Couche Utilisateur
 - Ce que le programmeur doit mettre dans ses modules...

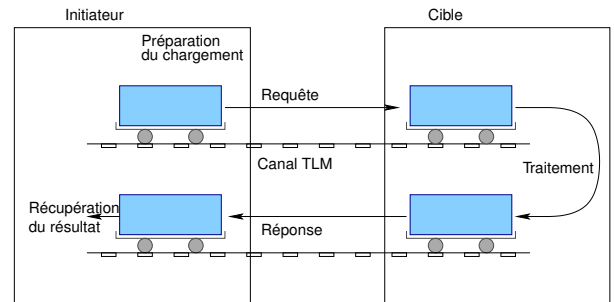
Interfaces de convenances

- Problème : mettre tout le monde d'accord sur l'API utilisateur est
 - Difficile (déjà des années de discussions entre vendeurs pour arriver à TLM-2)
 - Pas très utile : L'important est de pouvoir connecter un composant écrit par X à un canal écrit par Y, pas le code écrit à l'intérieur de Y.
- ⇒ TLM-2 définit une API générique mais très verbuse
- Chaque entreprise peut écrire une API qui lui convient.

Notre interface de convenance : Enstlm

- Faite maison ! (Giovanni Funchal)
- Objectifs :
 - ▶ simplicité du code (⇒ allez voir comment c'est fait !)
 - ▶ simplicité d'utilisation (vous me remercirez bientôt ;-))
- Beaucoup de limitations, mais suffisante pour les TPs.

Chemin d'une transaction : l'idée ...



Des tonnes de variantes

- 1 appel de fonction, ou plusieurs phases successives
- Connexion point à point, ou via un canal
- Communication de valeurs ou d'un bloc de valeurs
- Possibilité de rendre la main ou pas
- ...

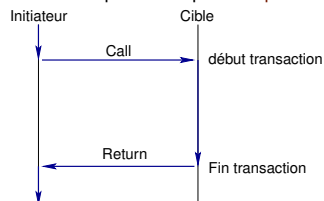
Couche transport (1/4)

- Interface pour transactions bloquantes
 - ▶ Toute la transaction doit se faire en un appel de fonction
 - ▶ Interface `tlm_blocking_transport_if<TRANS>`

```
template <typename TRANS = tlm_generic_payload>
struct tlm_blocking_transport_if :
    virtual sc_core::sc_interface {
    virtual void b_transport(TRANS& trans,
                           sc_core::sc_time& t) = 0;
};
```
 - ▶ Communication initiateur/cible :
 - ★ initiateur → cible : transaction passée en argument
→ **Call path**
 - ★ cible → initiateur : même transaction (passée par référence)
→ **Return path**
 - ▶ (Pour l'instant, on ignore le deuxième argument de `b_transport`)

Couche transport (2/4)

- Message Sequence Chart pour transport **bloquant** :



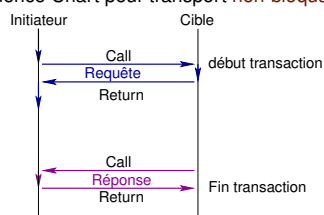
Couche transport (3/4)

- Interface pour transactions non-bloquantes
 - ▶ L'initiateur fait un appel de fonction : requête
 - ▶ La cible fait un appel de fonction dans l'autre sens : réponse
- ```
// ForWard path
template <typename TRANS = tlm_generic_payload,
 typename PHASE = tlm_phase>
struct tlm_fw_nonblocking_transport_if :
 virtual sc_core::sc_interface {
 virtual tlm_sync_enum nb_transport_fw
 (TRANS& trans, PHASE& phase, sc_time& t) = 0;
};

// BackWard path
template <typename TRANS = tlm_generic_payload,
 typename PHASE = tlm_phase>
struct tlm_bw_nonblocking_transport_if :
 virtual sc_core::sc_interface {
 virtual tlm_sync_enum nb_transport_bw
 (TRANS& trans, PHASE& phase, sc_time& t) = 0;
};
```

## Couche transport (4/4)

- Message Sequence Chart pour transport **non-bloquant** :



## Interface des composants

- Un composant TLM **initiateur** peut :
  - ▶ Lancer une transaction bloquante  
i.e. **appeler** `b_transport`
  - ▶ Lancer une transaction non-bloquante  
i.e. **appeler** `nb_transport_fw`
  - ▶ Recevoir une réponse de transaction non-bloquante  
i.e. **exposer une fonction** `nb_transport_bw`
- Un composant TLM **cible** peut :
  - ▶ Recevoir une transaction bloquante  
i.e. **exposer une fonction** `b_transport`
  - ▶ Recevoir une requête de transaction non-bloquante  
i.e. **exposer une fonction** `nb_transport_fw`
  - ▶ Envoyer une réponse à une transaction non-bloquante  
i.e. **appeler** `nb_transport_bw`

## Exporter/appeler une fonction (1/2)

### Question



Comment un module expose-t-il une fonction aux autres objets ?

- `sc_export` !

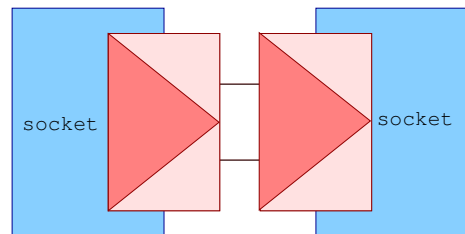
### Question



Comment un module appelle-t-il une fonction d'un autre objet ?

- `sc_port` !

## Exporter/appeler une fonction (1/2)



⇒ en TLM-2, on n'utilise plus que des sockets  
(mais il y a quand même des ports et exports sous le capot)

## Sockets et TLM-2

- Beaucoup de types de sockets différents.
- On va utiliser `tlm::tlm_initiator_socket` / `tlm::tlm_target_socket` et en dériver `ensitlm::initiator_socket` / `ensitlm::target_socket`.

## Communication entre N composants

- Jusqu'ici, on n'a fait que du point à point ...

### Question



Que manque-t-il ?

- Connexion N initiateurs vers M cible.
- Routage (choisir à quelle cible on parle) → addressmap.

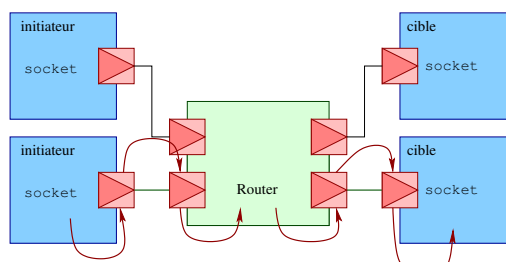
### Question



Comment faire ?

## Modéliser l'interconnexion

- On ajoute un composant pour modéliser le bus.
- Une solution (pas exactement celle de Ensitlm) :



## Ce qu'on veut pouvoir écrire

### Côté initiateur

```
ensitlm::data_t val = 1;
ensitlm::addr_t addr = 2;
while (true) {
 cout << "Entrer x : " << endl;
 cin >> val;
 socket.write(addr, val);
}
```

### Côté cible

```
tlm_response_status
write(const ensitlm::addr_t &a,
 const ensitlm::data_t &d) {
 cout << "j'ai reçu : "
 << d << endl;
 return TLM_OK_RESPONSE;
}
```

## Notre interface de convenance : Ensitlm

- Faite maison ! (Giovanni Funchal)
- Objectifs :
  - simplicité du code (⇒ allez voir comment c'est fait !)
  - simplicité d'utilisation (vous me remercerez bientôt ;))
- Beaucoup de limitations, mais suffisante pour les TPs.

## Ensitlm : limitations

- Protocole bloquant seulement  
(On ne s'embête pas avec le "backward path")
- Pas de généricité :
  - adresses : `typedef uint32_t addr_t;`
  - données : `typedef uint32_t data_t;`
- Pas de byte-enable,
- Pas de transaction par bloc,
- Seulement deux commandes : read/write,
- Peu d'optimisations de performances possibles.

## Ensitlm : principe

- `ensitlm/initiator_socket.h` : pour ne pas avoir à construire explicitement une `tlm_generic_payload`.
- `ensitlm/target_socket.h` : pour ne pas avoir à écrire une méthode `b_transport`, mais juste `read` et `write`.
- `bus.h` : une classe `Bus`.

## Pour utiliser Ensitlm

```
/* pour utiliser les sockets */
#include "ensitlm.h"
```

## Exemples de code

- `code/ensitlm-mini` : exemple minimaliste, un seul fichier (pas très propre, mais pratique pour avoir une vue d'ensemble).
- `code/ensitlm-mini-multi` : le même exemple, avec un découpage 1 classe = 1 fichier `.h` + 1 fichier `.cpp`.

## ensitlm\_initiator\_socket.h (1/4)

- Le code : déclaration

```
namespace ensitlm {

 template <typename MODULE,
 bool MULTIPOINT = false>
 class initiator_socket :
 public tlm::tlm_initiator_socket
 {
 public:
 initiator_socket(
 <CHAR_BIT * sizeof(data_t),
 tlm::tlm_base_protocol_types,
 MULTIPOINT?0:1>,
 private tlm::tlm_bw_transport_if
 <tlm::tlm_base_protocol_types>
 { ... }
 };
};
```

## ensitlm\_initiator\_socket.h (2/4)

- Le code : API

```
[...]
class initiator_socket : [...] {
 initiator_socket();
 explicit initiator_socket(const char* name);

 tlm::tlm_response_status
 read(const addr_t& addr, data_t& data,
 int port = 0);

 tlm::tlm_response_status
 write(const addr_t& addr, data_t data,
 int port = 0);
};
```

## initiator\_socket.h (3/4)

- Utilisation :

```
#include "ensitlm.h"

struct Foo : sc_core::sc_module
{
 ensitlm::initiator_socket<Foo> socket;
 SC_CTOR(Foo);
 void compute() {
 // ...
 status = socket.write(i, data);
 if (status != tlm::TLM_OK_RESPONSE) ...;
 // ...
 }
};
```

## ensitlm\_initiator\_socket.h (4/4)

- Ce que vous économisez à chaque `read/write` :

```
tlm::tlm_response_status read(const addr_t& addr,
 data_t& data, int port = 0) {
 tlm::tlm_generic_payload* trans;
 if(!container.empty()) {
 trans = container.back();
 container.pop_back();
 } else {
 trans = new tlm::tlm_generic_payload();
 }
 trans->set_command(tlm::TLM_READ_COMMAND);
 trans->set_address(addr);
 trans->set_data_ptr
 (reinterpret_cast<unsigned char*>(&data));
 trans->set_data_length(sizeof(data_t));
 trans->set_streaming_width(sizeof(data_t));
 (*this)[port]->b_transport(*trans, time);
 container.push_back(trans);
 return trans->get_response_status();
}
```

## ensitlm\_target\_socket.h (1/4)

- Le code : déclaration

```
namespace ensitlm {

 template <typename MODULE,
 bool MULTIPOINT = false>
 class target_socket :
 public tlm::tlm_target_socket
 {
 public:
 target_socket(
 <CHAR_BIT * sizeof(data_t),
 tlm::tlm_base_protocol_types,
 MULTIPOINT?0:1>,
 public tlm::tlm_fw_transport_if
 <tlm::tlm_base_protocol_types>
 { ... };
 };
};
```

## ensitlm\_target\_socket.h (2/5)

- La fonction `b_transport` :
  - C'est la fonction appelée par l'initiateur (le bus)
  - Appelle des fonctions `read` et `write` sur le module englobant
  - ⇒ l'utilisateur devra définir les fonctions `read` et `write`.

## ensitlm\_target\_socket.h (3/5)

- Le code : la fonction `b_transport`

```
void b_transport(tlm::tlm_generic_payload& trans,
 sc_core::sc_time& t) {
 addr_t addr = static_cast<addr_t>(trans.get_address());
 data_t& data = *(reinterpret_cast<data_t*>
 (trans.get_data_ptr()));
 switch(trans.get_command()) {
 case tlm::TLM_READ_COMMAND:
 trans.set_response_status(m_mod->read(addr, data));
 break;
 case tlm::TLM_WRITE_COMMAND:
 trans.set_response_status(m_mod->write(addr, data));
 break;
 case tlm::TLM_IGNORE_COMMAND:
 break;
 default:
 trans.set_response_status
 (tlm::TLM_COMMAND_ERROR_RESPONSE);
 }
}
```

## ensitlm\_target\_socket.h (4/5)

- Utilisation : implémenter `read/write`

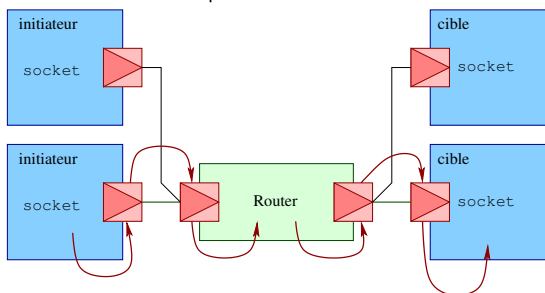
```
#include "ensitlm_target_socket.h"
struct target : sc_module {
 ensitlm::target_socket<target> socket;
 tlm::tlm_response_status write(const ensitlm::addr_t &a,
 const ensitlm::data_t &d) {
 cout << "j'ai reçu : " << d << endl;
 return tlm::TLM_OK_RESPONSE;
 }
 tlm::tlm_response_status read (const ensitlm::addr_t &a,
 ensitlm::data_t &d) {
 // [...]
 }
};
```

## ensitlm\_target\_socket.h (5/5)

- Pour implémenter `read/write` :
  - Doivent avoir **exactement** le même type que `read/write` de la classe de base (copier/coller ...)
  - Reçoivent des adresses relatives au début de bloc (i.e. une écriture à l'adresse 142 sur un module « mappé » sur l'intervalle [100, 200] donne une adresse 42 côté cible)
  - `read` peut modifier la donnée, `write` ne peut pas.

## ensitlm\_router.h (1/3)

- Utilise des sockets "multiport" :



## bus.h (2/3)

- Le code :
 

```
SC_MODULE(Bus) {
 // Parametre 'true' pour connection multiport
 // (Specifcité du bus)
 ensitlm::initiator_socket<Bus, true> initiator;
 ensitlm::target_socket<Bus, true> target;

 Bus(sc_core::sc_module_name name);

 tlm::tlm_response_status
 read(ensitlm::addr_t a, ensitlm::data_t& d);
 tlm::tlm_response_status
 write(ensitlm::addr_t a, ensitlm::data_t d);
 void map(ensitlm::compatible_socket& port,
 ensitlm::addr_t start_addr, ensitlm::addr_t size);
 // ...
};
```
- Un module (presque) comme les autres.

## bus.h (3/3)

- Utilisation :
 

```
int sc_main(int, char**)
{
 Generator generator1("Generator1");
 Memory memory("Memory", 100);
 Bus router("router");

 generator1.socket.bind(router.target);
 router.initiator.bind(memory.target);

 // address map
 // target port | address | size
 router.map(memory.target, 0, , 100);

 sc_core::sc_start(); return 0;
}
```

## Conclusion

- TLM-2 :
  - Interfaces standardisées,
  - Contenu de transaction standardisée,
  - Comportement des bus laissés à l'utilisateur.
- Protocole Ensitlm : ce que l'on va utiliser en TP
  - Plus concis que TLM-2 « brut »
  - Router avec addressmap
- Et les interruptions ?
  - Plusieurs solutions...
  - Utilisation de `sc_in`, `sc_out`, etc. pas parfaite mais raisonnable.